Elektromagnetische Verträglichkeit von Haushaltsgeräten und Untersuchungen zur Störungsvermeidung

Franz Freitag und Justin Wießel

Freizeitoase (ehem. Schullandheim) Gardelegen
https://slhga.de/
Betreuung: Sven Freitag, Ingo Dirmeier

Jugend forscht 2017
30 Jahre Talentförderung in der Freizeitoase Gardelegen

Die mangelhafte Entstörung elektronischer Haushaltsgeräte, insbesondere von Schaltnetzteilen, führt zu immer häufiger auftretenden Störungen von, teils sicherheitsrelevanten, Funkdiensten oder zu Fehlfunktionen und Ausfällen dieser Geräte.
Diese Arbeit betrachtet die Ursachen und Auswirkungen praktisch auftretender Störungen. Mithilfe einer Messzelle und eines SDR-Empfängers werden die Spektren der Störungen aufgenommen und Möglichkeiten zur Verbesserung der EMV untersucht.

Inhaltsverzeichnis

1 Motivation

Ein bekanntes Phänomen unzureichender Störfestigkeit ist das knatternde Geräusch aus aktiven Lautsprecherboxen in der Nähe von Mobiltelefonen. Durch ungeschirmte Kunststoffgehäuse und Zuleitungen erfolgt eine Einstrahlung des pulsförmigen GSM-Signals hoher elektrischer Feldstärke, welches an den pn-Übergängen der Eingangstransistoren gleichgerichtet und nachfolgend verstärkt wird.
Immer häufiger werden Störungen des UKW-Empfangs durch mangelhaft entstörte USB-Steckernetzteile festgestellt. Durch unzureichende Glättung der Ausgangsspannung verlassen oberwellenreiche Störstrahlungen das Gerät, Kabellängen um $1,5$ m sorgen für Halbwellenresonanz im UKW-Bereich ($89\ldots108$ MHz). Durch Verzicht auf Netzfilter sind das Netzteil und die dahinter befindlichen Geräte zudem empfindlich gegenüber hohen Spannungsimpulsen im Netz. Schaltnetzteile höherer Leistung ohne Leistungsfaktorkorrektur (PFC) verursachen hohe Blindströme und eine Verzerrung der Netzspannung, welche weitere Störungen verursachen.
Ein weiteres häufig anzutreffendes Problem ist der Ausfall von Festnetztelefonen oder DSL-Modems nach einem Blitzeinschlag in mittelbarer Nähe mangels ausreichender Störfestigkeit gegenüber hohen Spannungsimpulsen. Hier hilft bereits ein einfacher Überpannungsschutz innerhalb der TAE-Dose.

Diese Arbeit untersucht die Ursachen diverser EMV-Probleme in gängigen Haushaltsgeräten und betrachtet Möglichkeiten der Entstörung dieser. Sie soll zudem auf den verantwortungsbewussten Umgang der Schaltungsentwickler, privat als auch gewerblich, den Verbrauchern und Betreibern potentiell störender Geräte mit EMV-Problematik und der begrenzten *Ressource Frequenz* hinweisen.

1.1 Auswirkungen unerwünschter Abstrahlungen

Durch die mangelhafte Verarbeitung bzw. Filterung kann eine fehlerfreie Nutzung diverser Geräte nicht gewährleistet werden. Zudem sind bestimmte Bauelemente (insbesondere Kondensatoren) nur für geringe Spannungen und Ströme ausgelegt, sodass diese bei hohen Spannungsimpulsen, beispielsweise einem Blitzeinschlag, Schäden nehmen. Jene Bauteile können nur selten von einem einfachem Verbraucher ersetzt werden, sodass dieser entweder zu einer teuren Reparatur greift oder direkt ein neues billiges Gerät kauft, welches auf ähnliche Weise verarbeitet ist und deshalb nur wenig länger halten wird. Dieses Problem verursacht eine Kettenreaktion, da durch dieses schnelle Abnutzung der Gerätschaften auch die Entsorgung dieser beschleunigt wird. Oft haben solche Geräte nur ein einfaches Plastikgehäuse und billige Netzteile, sodass diese nicht noch einmal verwendet werden können und eine Umweltgefahr darstellen, da diese meistens nicht erneut verarbeitet werden und recycelt werden.

2 Grundlagen der elektromagnetischen Verträglichkeit

2.1 Gesetzliche Bestimmungen

In Deutschland und in vielen anderen Ländern gibt es gesetzliche Bestimmung für die EMV, damit ein störungsfreier Betrieb gewährleistet werden kann. Dieses Gesetzte bilden Vor- und Nachteile für den Betrieb von Funkgeräten, momentan sogar etwas stärker in der Bundesrepublik Deutschland, da am 29. September 2016 ein neues Gesetz zur Elektromagnetischen Verträglichkeit verabschiedet wurde, welches auf den Vorgaben der EU-Richtlinien 2014/30/EU basiert.
Zunächst erst einmal etwas zu den grundlegenden Richtlinien für die Europäische Union. Die Regeln gelten für jedes Gerät, das Störungen im elektromagnetischen Bereich absondert. Es gibt nur wenige Ausnahmen. Hierbei wurde festgelegt, dass alle Geräte, die keine Störungen verursachen an anderen Gerätschaften in der Umgebung und somit ihre Betriebsfähigkeit nicht einschränken, auf dem europäischen Binnenmarkt verkauft werden dürfen. In diesen Beschluss werden aber keine konkreten Grenzwerte genannt. Im Anhang 1 findet man lediglich die Bemerkung, dass der Pegel nicht überschritten werden darf, sodass keine Funk- und Telekommunikationsmittel mehr gerecht betrieben werden können. Der Amateurfunk ist im diesen Sinne aus dem Beschluss ausgenommen, solange die Funkanlagen nicht auf dem Markt frei verkäuflich sind. Sowohl Luftfahrt als auch Militär unterliegen Sonderregelungen. In Deutschland erfolgte die Umsetzung mit dem Gesetz über elektromagnetische Verträglichkeit von Betriebsmitteln. Dieses Gesetz ist fast identisch mit dem von der EU beschlossenem. Nur in Deutschland gilt Grenzwert für das elektrische Feld von 5 kV/m und für das magnetische

Feld 100 µT. Ein Problem in der Bundesrepublik ist jedoch, dass der Staat sich nicht dazu verpflichtet Störungen zu beheben. Nur Polizei und Feuerwehr haben einen staatlichen Anspruch auf Störungsschutz. Der einfache Bürger muss also Störungen von PLC, LED-Lampen oder Netzteilen akzeptieren und kann sich nur mit einfachen Mitteln, die ihn zur Verfügung stehenden abhelfen.
Im Jahr 2014 musste aus diesen Gründen eine Amateurfunkstelle den Betrieb verkleinern, da die ansässigen Hobby-Funker nicht gegen eine störende Energiesparlampe vorgehen konnten, die am Hause des Nachbars installiert. Solche Fälle gibt es in vielen anderen europäischen und außereuropäischen Ländern nicht, da es dort in bestimmten Fällen immer die Möglichkeit gibt öffentliche Meldestellen aufzusuchen, deshalb gibt es Momentan immer wieder Problem zwischen der Regierung und RTA (Runder Tisch Amateurfunk) bzw. den DARC, die beide keine Berücksichtigung derer Anträge an den Bundestag wahrnehmen konnten. So wird es wohl in Deutschland in den nächsten Monaten bzw. Jahren wieder eine Gesetzesänderung im Rahmen des EMV geben.
Im Vereinigten Königreich Großbritannien gibt es viele Möglichkeiten Sanktionen über nicht rechtmäßige Geräte und deren Betreiber zu verhängen, denn in Großbritannien ist es genauso wie in Deutschland, dass ein Hersteller dazu verpflichtet ist dem Gerät eines, den Normen entsprechende, CE-Kennzeichen beizufügen. Mit der CE-Kennzeichnung gibt der Hersteller an, dass die Gerätschaften allen Richtlinien und Normen entsprechen. In der Schweiz ist es auch ähnlich wie in Großbritannien mit der Kontrolle der Geräte. Nur reichen hier nicht einfach nur die CE-Kennzeichnungen, sondern hier müssen auch Messprotokolle oder Schaltpläne an die zuständigen Behörden weitergeleitet werden. Zudem ist in der Schweiz eine Webseite vorhanden, in der die Menschen nachlesen können welche Geräte nicht auf dem Markt aufgrund ihrer Störung er haltbar sind. Auch im außereuropäischen Ausland sind die meisten Regelungen zur EMV ähnlich getroffen worden, so zum Beispiel in Australien. Dort werden die Geräte in 3 Kategorien unterteilt. Die einfachen Haushaltsgeräte zum Beispiel müssen nur vom Hersteller getestet werden und von der Behörde mithilfe von zugeschickten Unterlagen freigegeben werden. Währenddessen haben sich Geräten für Kraftfahrzeugen einen härteren Test zu unterziehen, der von den Behörden typgerecht ausgeht [3].

2.2 Technische Grundlagen zur Messung der EMV

Bei der Untersuchung der EMV ist zu beachten, dass Störungen sowohl netzgebunden als auch als E-Feld (elektrostatische Komponente des elektromagnetischen Feldes) auftreten können. Störungen im H-Feld (magnetische Komponente des elektromagnetischen Feldes) treten im Nahfeld jedoch kaum auf und werden von uns daher nur am Rande behandelt.

2.2.1 Netznachbildung für Messungen im Bereich 150 kHz . . . 30 MHz

Eine Netznachbildung ist für Messungen der netzgebundenen Störungen notwendig. Sie filtert durch einen Netzfilter unerwünschte Störungen aus, welche bereits aus dem Stromnetz kommen. Zudem bietet sie dem Prüfling eine definierte Impedanz, zusätzliche Dämpfungsglieder sind meist nicht notwendig. Die von uns verwendete V-Netznachbildung dient der Messung unsymmetrischer Störspannung zwischen Phase/Neutralleiter bezüglich Schutzleiter. Ein Trenntrafo sorgt für zusätzliche Netzfilterung sowie dafür, dass die auftretenden hohen Ableitströme den FI-Schutzschalter nicht auslösen [10].

Für übliche 50 Ω-Messempfänger werden im einphasigen Niederspannungsnetz meist Netznachbildungennach folgender Schaltung eingesetzt, welche sich nach EN 55016-1-2 richtet und für 150 kHz . . . 30 MHz Frequenzbereich eingesetzt werden kann.

2.2.2 GTEM-Messzelle für E-Feld-Messungen im Bereich DC . . . 18 GHz

Die GTEM-Zelle (*Gigahertz Transverse Electromagnetic Cell*, [17]) dient der Messung von Abstrahlungen im E-Feld bis 18 GHz. Diese Messzellen werden auch angewendet, um Geräte, die auf den europäischen Markt verkauft werden, zu testen, ob diese den Richtlinien entsprechen [7]. Vorteil bei diesem Messinstrument ist, dass es sehr kompakt ist und da es vollkommen metallisch geschlossen ist, ist es auch somit von der elektromagnetischen Strahlung entkoppelt und kann auch in einem normalen Raum benutzt werden.

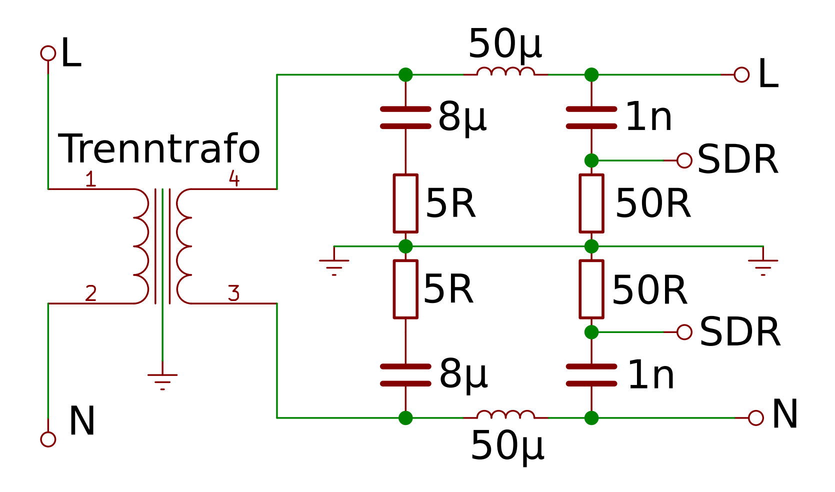


Abbildung 1: Netznachbildung

Die GTEM-Zelle ist pyramidenförmig aufgebaut. In der Messzelle befindet sich eine metallische Platte, die Septum genannt wird, mit der eine Leitungsstruktur gebildet werden soll. Das Septum ist so angebracht, dass Anpassung von 50 Ω besteht. Dieser Innenleiter geht mit der Pyramidenform der Zelle mit und wird mit 50 Ω abgeschlossen. Am kleineren Ende der Zelle ist eine BNC-Buchse verbaut. Am größeren Ende der Zelle befinden sich Hochfrequenzabsorber, die eine Reflektion der elektromagnetischen Strahlung verhindern sollen. In der Zelle herrscht eine Impedanz von 377 Ω, der durch ein transversalelktromagnetisches Feld im Dielektrikum Luft in der Zelle verursacht wird (Kondensator). Oft wird ein kleines Türchen an der Seite der Zelle angebracht, indem die Geräte eingelegt werden, damit gemessen werden kann. Der Eigenbau unserer Zelle weist nach Messung eines *MFJ 259* [9] im Bereich $1,8 \ldots 175$ MHz eine Impedanz von $30 \ldots 80$ Ω auf und stets ein $SWR < 2$.

Man kann mit der GTEM Zelle zum Beispiel Störfestigkeit und Störemission messen. Bei der Störfestigkeit leitet man ein elektrisches Signal in die Messzelle über den Anschluss. Bei der Störemission überprüft man welche Störsignale die Geräte selber aussenden. Das Gerät erzeugt mit seinen Störsignalen Ströme sowie Spannung im Septum und Hülle der Zelle. Die Spannungen und Ströme können mit einem geeigneten Empfänger abgenommen werden und dargestellt werden.

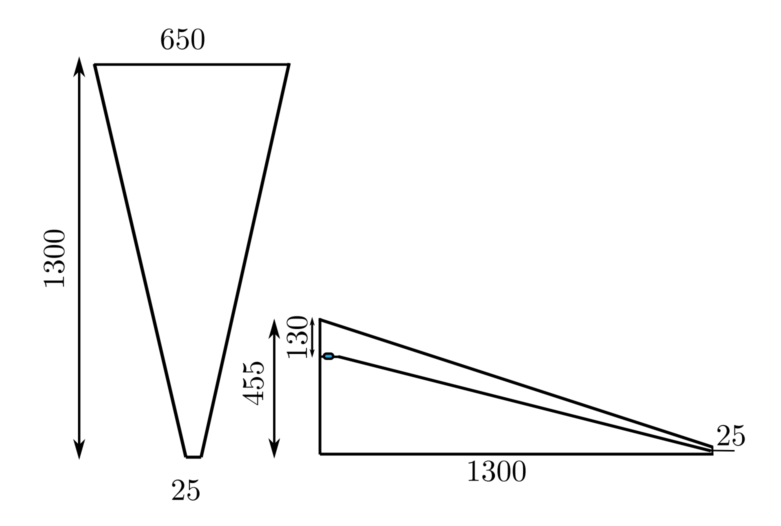


Abbildung 2: Maße der GTEM-Messzelle in mm [8]

2.2.3 Antennen für EMV-Messräume

Für Messungen großer Geräte in EMV-Messräumen werden zur Messung im E-Feld häufig logarithmisch-periodische Antennen (LogPer) [14] verwendet, welche eine hohe Bandbreite und eine Richtwirkung mit hohem R/V-Verhältnis aufweisen.
Für Messungen im H-Feld werden Leiterschleifen (Loops) [19] genutzt, welche entweder schmalbandig als Schwingkreis (Viertelwellenresonanz oder Anpassung mit Kondensator im Kurzwellenbereich) oder breitbandig (mittels Übertrager) betrieben werden [18].

2.2.4 Messempfänger

SDR ist die Abkürzung für *Software Defined Radio*. Dabei sollen Signale mithilfe von Softwares verarbeiten werden, die sich oft im Hochfrequenzbereich befinden. Um die Signale grafisch darzustellen, benutzen die meisten SDR-System sogenannte Universalrechner und Signalprozessoren, die jedoch erst bei einen Frequenzbereich ab 10 MHz Einsatz finden. Mithilfe von Analog-Digital- bzw. Digital-Analog-Umsetzer wird das Signal an den Rechner gegeben, es findet dort eine softwarebasierte Signalverarbeitung statt, in der die Signalströme in Reelle Zahlen umgewandelt werden und vom Computer ausgegeben werden. Es gibt bei diesen Geräten 3 verschiedene Funktionsweisen: die direkte Digitalisierung des Eingangssignals (hier wird das Eingangssignal, nachdem es durch Filter bzw. Dämpfungsglieder gelaufen ist, direkt für den Computer digitalisiert), die Digitalisierung auf Zwischenfrequenzebene (hier wird das Signal in einen analogen Filter gegeben, der dazu ausgelegt ist, besonders hohe Frequenzen zu empfangen, *ZF-Stufe*). Ein Vorteil dabei ist, dass die Abtastfrequenz für die ZF-Ebenen gering gehalten werden kann und das hier auch eine Demodelation am Computer gemacht werden kann), sowie der Direktmischer nach dem IQ-Verfahren. Das Eingangssignal wird hier direkt mit dem Oszillatorsignal mit der gleichen Frequenz gemischt. Problem hierbei ist, dass es immer eine Spiegelfrequenz gibt und diese Spiegelfrequenz muss beim SDR-Empfänger mit aufwändigen Signalverarbeitungen unterdrückt werden.

Vorteile der SDR-Empfängern sind, dass sie sehr kostengünstig sind und auch die Software vielseitig ausgelegt werden kann. Ein Nachteil ist die hohe Rechenanforderung. SDR-Systeme findet man bereits beim Militär, im Bereich des Amateurfunks oder aber auch mittlerweile auch im Mobilfunkbereich für die Kommunikationstechnik. Zudem nutzt man sie auch für Forschungen und Messungen (wie bei diesem Projekt).

3 Messung unerwünschter Abstrahlungen

3.1 Arten und Ursachen

Klassische Netzteile (Transformator mit Eisenjoch, Betrieb mit Netzfrequenz) werden aufgrund eines geringen Wirkungsgrades, einer hohen Masse sowie hoher Fertigungskosten für geringe Leistungen kaum verwendet. Durchgesetzt haben sich Netzteile mit schaltenden Bauelementen (Thyristor, MOSFET, selten auch Bipolartransistor), welche die Netzfrequenz auf $20 \ldots 100\,\text{kHz}$ anheben; dies ermöglicht den Einsatz kleinerer Transformatoren sowie kleinerer Glättungskondensatoren (vgl. Simulation in LTSpice), was sich positiv auf Wirkungsgrad, Masse und Volumen des Netzteils auswirkt. Höhere Schaltfrequenzen werden nicht genommen, da hier wieder der Wirkungsgrad aufgrund des Skin-Effektes und kapazitiver Verluste sinkt.

Die einfachste Möglichkeit, eine hohe Frequenz zu erzeugen, ist die Pulsweitenmodulation [11], wobei der Tastgrad dem Verhältnis zwischen Ein- und Ausgangsspannung entspricht. Entsprechende Netzteile lassen sich ohne Transformator aufbauen, stellen dann jedoch eine Gefahr dar, da die Phase der Netzspannung bis zur Last vordringt.

Weitere Anwendung der PWM sind die Erzeugung einer hohen Frequenz in einem Sperrwandler. Hier wird der Transformator mit einer hohen Frequenz betrieben (oben beschriebene Vorteile ergeben sich), sowie die Phasenanschnittsteuerung mittels Triac, welche häufig in Dimmern verwendet wird, jedoch zudem Blindströme verursacht. Allen Anwendungen gemeinsam ist das Problem steiler Flanken

im Ausgangssignal, gleichbedeutend mit einem breitbandigen Anteil an Oberwellen [16] (*Fourier-Spektren*[21]).

Eine weitere Ursache für unerwünschte Abstrahlung ist unzureichende Abschirmung von Kabeln und Gehäusen. Ein weiterer Grund ist die Sparsamkeit der Hersteller, oft fehlen ganze Baugruppen zur Filterung oder es wurden nur mangelhafte Bauelemente verwendet. Die Drossel kann beispielsweise in Sättigung geraten, wenn sie zu gering dimensioniert ist, eine Filterung ist nicht mehr gegeben, zudem erwärmt sich die Drossel, der Wirkungsgrad sinkt. Ein weiteres Problem ist die zu geringe Dimensionierung der Kondensatoren. Bei zu geringer Kapazität wird die Spannung unzureichend geglättet; bei zu geringer Spannungsfestigkeit treten Überschläge und somit eine Zerstörung des Netzteils und ggf. folgender Geräte auf. Mangelhaften Kondensatoren, meistens Elektrolytkondensoren, haben oft auch nur eine geringe Lebensdauer und sorgen für eine frühe Obsoleszenz.

3.2 Aufbau der Messeinrichtung

Als SDR-Empfänger stehen uns ein *HackRF One* sowie ein *FUNcube Dongle Pro* zur Verfügung. Der *HackRF One* umfasst laut Spezifikation [6] einen Frequenzbereich von 10 MHz . . . 6 GHz, ein Test ergab, dass brauchbare Ergebnisse bereits ab 100 kHz zu erwarten sind. Der *FUNcube Dongle Pro* ist im Frequenzbereich von 64 MHz . . . 1, 7 GHz mit einer Lücke von 1100 MHz . . . 1270 MHz nutzbar [4], er wird für Vergleichsmessungen verwendet. Zudem ist geplant, einen *Rhode & Schwarz ESPC* EMI Test Receiver [12] als hochwertigen Vergleichsempfänger zu nutzen. Als Computer dient ein *Lenovo Thinkpad X61t*, welches während der Messung ohne Netzteil betrieben wird. Für die Aufzeichnung der Spektren und Wasserfall-Diagramme kommt die Software `gqrx` [5] zum Einsatz, als Betriebssystem wird `Arch Linux 64bit` genutzt.

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Micro-USB-Netzteile

Es werden diverse Steckernetzteile zum Betrieb von Micro-USB-Geräten, bspw. Mobiltelefonen, untersucht. Sowohl Messungen an der Netznachbildung als auch E-Feld-Messungen in der GTEM-Zelle zeigen Störaussendungen im Bereich von 100 kHz . . . 1 MHz mit Peaks um $-40\,\mathrm{dB}\mu\mathrm{V}$. Eine größere Dimensionierung der filternden Bauteile ist angeraten.

3.3.2 PLC-Adapterpaar

Beide PLC-Adapter werden in der GTEM-Zelle untergebracht und die Cat5-Netzwerkkabel (galvanisch getrennt) nach außen geführt. Es wurde eine Netzwerkverbindung hergestellt und Datendurchsatz erzeugt. Es können im E-Feld starke Störungen im Kurzwellenbereich bis etwa 30 MHz festgestellt werden. Der Empfang von Rundfunkprogrammen im 31m-Band mit einer Teleskopantenne ist während des Betriebs der PLC-Anlage nicht mehr möglich.

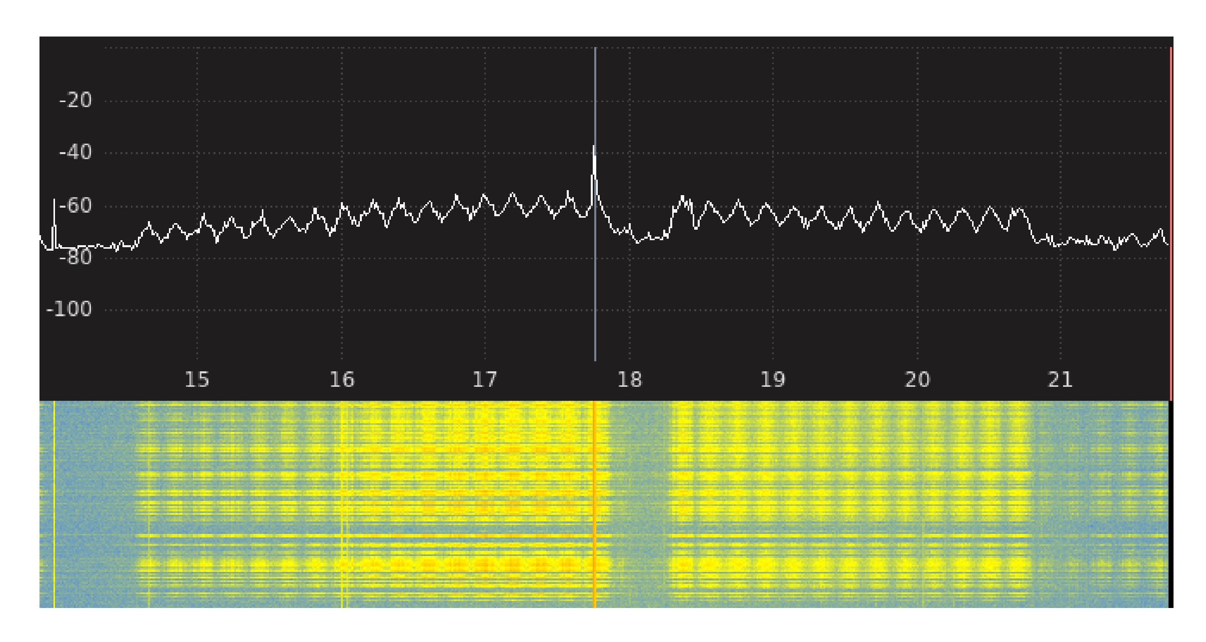


Abbildung 3: Screenshot E-Feld-Messung PLC

4 Verbesserung der EMV

4.1 Bauelemente und Schaltungen zur Verbesserung der EMV

Ein Bauelement zur Verbesserung der EMV ist der Tiefpass. Grundlegend lässt der Tiefpass niedrige Frequenzen hindurchlässt und höhere Frequenzen sperrt und gegen Masse leitet.

4.1.1 Tiefpass

Der Tiefpass 1. Ordnung nennt sich *RC-Glied*. Diese Abkürzung soll verdeutlichen, dass in dieser Schaltung ein Ohmscher Widerstand in Reihe und ein Kondensator parallel gegen Masse geschalten werden [13]. Man legt zunächst beim Tiefpass eine Grenzfrequenz f_g fest, bei der 3 dB Dämpfung auftreten. Es wird einzig der Frequenzgang des Kondensators ($X_C = -\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}$) zur Filterung genutzt.

Der Tiefpass 2. Ordnung, wird *LC-Glied* genannt. Bei diesem Modell wird eine Induktivität in Reihe geschaltet. Hierbei nutzt man zusätzlich den zunehmenden Blindwiderstand der Induktivität $X_L = \mathrm{j}\omega L$ mit steigender Frequenz aus. Die Güte Q, welche die Bandbreite des Filters festlegt, wird hauptsächlich vom Kernmaterial und der Bewicklung der Induktivität bestimmt.

4.1.2 Netzfilter

Eine weitere Schaltung, das elektrische Störungen unterbinden soll, ist der Netzfilter [1]. Dieser ist eine Serienschaltung zweier Tiefpässe, welche sowohl Störungen zwischen Phase und Neutralleiter sowie zwischen Phase/Neutralleiter und Schutzleiter filtern. Sein Einsatzbereich sind oft Niederspannungsbereiche unseres Stromnetzes. Die Induktivität ist meist auf einen Ferritring gewickelt. Die stromkompensierenden Drosseln dienen zum Unterdrücken von Gleichtaktstörströmen. Netzfilter mit mehreren kompensierten Drosseln meist größerer Ausmaße, sind in der Lage, auch Gegentaktstörungen zu unterbinden, die zum Beispiel bei Oberwellen im Schaltnetzteil entstehen. Der X-Kondensator soll die Gegentaktstörungen blocken, die von der Zuleitung kommen. Der Y-Kondensator soll indes die Störungen filtern, die entstehen, wenn Außen- und Neutralleiter auf gleicher Phase gegen Erde fließen, also die Gleichtaktströme werden unterbunden. Das Besondere an diesen Y-Kondensatoren ist, dass diese kleiner dimensioniert sind als die X-Kondensatoren, da sie den Arbeitsstrom nicht unnötig erhöhen sollen. Zudem sind sie besonders überspannungsfest, damit sie bei einer großen Spannung (zum Beispiel durch einen Blitzschlag) keinen Kurzschluss im Gehäuse verursachen. Beide Kondensatoren sind selbstheilend, d.h. sie verursachen generell keine Kurzschlüsse.

4.1.3 Gehäuse

Eine weitere Variante der Verbesserung der EMV ist das Abschirmen der Geräte mithilfe von Kabelschirmen und Metallgehäusen. Beim Kabelschirm können nur teilweise Störungen vermieden werden, da es immer wieder Probleme damit gibt, dass dieser bei Erdung Erdschleifen bildet. Mittlerweile gibt es für dieses Problem Lösungen, wie beispielsweise eine Punkterdung oder eine häufige und großflächige Kontaktierung des Kabelschirms. Zudem müssen die Masseverbindungen kurz, großflächig und dick sein, damit die Widerstände und die Induktivitäten gering gehalten werden. Metallgehäuse umschließen die Gerätschaft, dieses muss auch geerdet oder an Masse angeschlossen werden [2].

4.2 Realisierung

Die einfachste Vermeidung, Störstrahlung auszusenden, ist die Nichtinbetriebnahme störender Geräte. Spätestens hier entscheidet der potentielle Kunde, ob er einem Billigstgerät aus Fernost ohne jeglichen Prüfzeichen, bei dem schon der Menschenverstand an der EMV (und der Gerätesicherheit allgemein) zweifelt, oder einem minimal teurerem Gerät mit originalem Prüfsiegel und bekannter Herkunft vertrauen sollte. Mangelhaft entstörte Geräte sind oftmals schon an der geringen Masse (fehlende Drosseln, Kunststoffgehäuse) und der billigen Verarbeitung zu erkennen, teils ist das Gehäuse zu klein bemessen, um überhaupt Bauteile der Entstörung (Kondensatoren, Drosseln) in jenem unterzubringen.

Eine hohe Störfestigkeit kann einfach erreicht werden. Grundsätzlich hilft es, geschirmte Zuleitungen und ggf. Metallgehäuse zu wählen. Da diese jedoch mehr Masse aufweisen und teurer sind, werden sie aus der Sicht des Verbrauches oft negativ wahrgenommen.

Weiterhin helfen Netzfilter und Tiefpässe bei der Filterung von Störungen. Phasenanschnittsteuerungen sollten durch eine Schwingungspaketsteuerung ersetzt werden. Der Vorteil hierbei ist, dass die Schwingungspaketsteuerungen nur im Nulldurchgang schalten, sodass keine Flanken vorhanden sind; auch die hohen Blindströme werden dadurch vermieden.

4.3 *Beispiel:* Alternativen zur Powerline-Communication (PLC)

Powerline-Communication ist eine Technologie, um Ethernet-Verbindungen über das 230V-Netz im Haushalt aufzubauen. Dies wird durch Nutzung des gesamten Kurzwellenbereiches für die digitale Übertragung der Datenpakete erreicht. Da das 230V-Netz jedoch üblicherweise aus ungeschirmten Leitungen aufgebaut ist, da es nicht für die Übertragung von HF vorgesehen ist, strahlt dieses einen Teil der HF-Leistung aus, welches zu starken Störungen umgebender Geräte, insbesondere Rundfunkempfänger, führt [15].

Betreiber von Power-Line Communication (PLC) sind sich aufgrund mangelnder Vorabinformation oft nicht bewusst, starke breitbandige Störungen zu verursachen oder relativieren diese, solange sie selbst nicht betroffen sind. Wünschenswert für alle Funkdienste ist eine Vorabinformation potentieller Kunden über das Gefahrenpotential der PLC-Technik, dies ist jedoch nicht im Sinne jener Hersteller. Die Firma Netgear war nicht bereit, uns PLC-Technik zur Verfügung zu stellen.

Versuche haben gezeigt, dass PLC-Pakete innerhalb von Hausinstallationen auch noch außerhalb empfangen und gelesen werden können. Durch oftmals mangelhafter Verschlüsselung der Datenpakete ist ein Mitlesen des Datenverkehrs von Außen mit geringem technischen Aufwand möglich. Eine gezielte Unterbrechung der PLC durch Einstrahlung in das Hausnetz ist ebenso leicht möglich und stellt in sicherheitsrelevanten Bereichen (Steuerung von Biogasanlagen) ein hohes Risiko dar [20].

Bei heutigen Installationen sind zusätzliche Kabelkanäle für geschirmte Cat-Netzwerkkabel oder Glasfaser sowie die Installation mehrerer WLAN-Access-Points Standard, bei älteren Gebäuden einfach nachzurüsten. Diese bewährten Techniken sind oftmals kostengünstig zu realisieren und deutlich störsicherer als PLC.

5 Anhang

5.1 Literaturverzeichnis

Literatur

[1] Datenblatt Netzfilter Schurter KFA 1A. http://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/C100/kfa.pdf

[2] EMV Pocket Guide. http://www.ifm.com/obj/emv_pocket_guide_de.pdf

[3] Frequenzplan der BNetzA. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Grundlagen/Frequenzplan/frequenzplan-node.html

[4] The FUNcube Dongle - An Introduction. http://www.funcubedongle.com/MyImages/FCDAnIntroduction.pdf

[5] Gqrx SDR. http://gqrx.dk/

[6] Great Scott Gadgets HackRF wiki. https://github.com/mossmann/hackrf/wiki

[7] GTEM-Zelle der OvGU. http://www.emv.ovgu.de/Industrie/Labore/GTEM_Zelle.html

[8] GTEM-Zelle Eigenbau. http://www.mikrocontroller.net/topic/152229

[9] MFJ 259b. http://www.mfjenterprises.com/support.php?productid=MFJ-259B

[10] Netznachbildungen. http://www.schwarzbeck.de/de/netznachbildungen-lisn-amn.html

[11] Pulsweitenmodulation. http://www.mikrocontroller.net/articles/Pulsweitenmodulation

[12] Rhode & Schwarz ESPC Datasheet. http://www.testequipmenthq.com/datasheets/Rohde-Schwarz-ESPC-Datasheet.pdf

[13] Tiefpass-Filter. http://www.elektronik-kompendium.de/sites/slt/0206172.htm

[14] Bochum, Sebastian Gajda; H.: Verbesserung der EMV einer Platine am Beispiel eines Batterie Monitoring Systems. http://www.hochschule-bochum.de/fileadmin/media/fb_e/labore/prof_albers/Forschungsarbeiten/Sebastian%20Gajda.pdf

[15] C01, Hartwig Harm; DARC-Ortsverband: Störungen und Störende Beeinflussungen. http://dh2mic.darc.de/afu-kurs/pdffiles/emv.pdf

[16] Dipl.-Ing. Markus Tillich, HTBLuVa: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). http://albinotroll.nerx.net/files/htlstp/4aheli/4aheli_emv.pdf

[17] EMV; Technische Universität Dresden, Professur für Theoretische Elektrotechnik u.: GTEM-Zelle. https://tp.dresden-concept.de/de/equipment/view/id/810

[18] EMV-Technologie, Deutsche G.: Rahmenantenne, Loop Antenna, Magnetic Loop. http://www.demvt.de/publish/viewfull.cfm?objectID=ba9b6dd4_e081_515d_746cf0549f684ff5

[19] H.G. Krauthäuser, M. Thiele W. Hänsch; OVGU Magdeburg; ONELINE A. J. Nitsch N. J. Nitsch: NB30 und MV05: Erste praktische Erfahrungen mit Geräten zur Power-Line Communication. https://tu-dresden.de/ing/elektrotechnik/eti/te/ressourcen/dateien/publikationen/bib2html/krauthaeuser02d.pdf?lang=en

[20] Prof. Dr.-Ing. Holger Hirsch, Universität Duisburg-Essen: Bewertung der Störaussendung von PLC-Modems. http://www.imst.de/itg9_1/vortraege/oktober2003/Folien/F%20Hirsch.pdf

[21] Prof. Dr. Rainer Thüringer, FH Gießen-Friedberg: Impulse auf Leitungen - Elektrische Grundlagen. https://homepages.thm.de/~hg7313/lehre/avt/skript/avt_hightechspeed_bg_kap2.pdf

5.2 Bemerkungen

Unser Dank richtet sich neben den Betreuern an Miriam Schwarz, welche uns einen HackRF One sowie einen FUNcube Dongle Pro bereitstellte, an den Ortsverband W03 des DARC, sowie den Leiter der Arbeitsgemeinschaft Forschung, Konrad Hammer, welcher sich seit nunmehr 30 Jahren der Förderung von Forschungsprojekten innerhalb der Freizeitoase Gardelegen ausgesprochen hat und uns zu diesem Projekt gebracht hat.
Unser Projekt wäre ohne die Verfügbarkeit freier Hardware und Software, insbesondere LaTeX, nicht möglich gewesen.